
PSO-PID를 이용한 시소 시스템의 위치제어

손용두* · 손준익* · 추연규** · 임영도*

*동아대학교, **진주산업대학교

A Position Control of Seesaw System using Particle Swarm Optimization - PID Controller

Yong Doo Son* · Jun Ik Son* · Yeon Gyu Choo** · Young Do Lim*

*Dong-A University, **Jinju National University

E-mail : syd7420@hanmail.net

요 약

이 논문에서는 PID 알고리즘을 이용하여 시소 시스템의 균형을 위한 위치 제어기를 설계하고자 한다. 시소 시스템(Seesaw System) 선박 및 항공 역학, 도립진자, 각종 분석, 로봇 시스템 등의 해석에 광범위하게 응용되는 시스템이자 현대 제어 시스템의 이론과 각종 응용문제를 취급할 수 있는 장치이다. 시소 시스템의 경우 시스템이 비선형성이 강한 제어 대상이므로 시스템의 이해와 해석, 그리고 파라미터의 정확한 선정이 필수요소이다. 사용할 시스템 제어 알고리즘에는 간단하고 오랜 역사를 통해 안정성이 보장된 PID 알고리즘과 정확하고 빠른 PID 파라미터 동조에 필요한 연산 최적화 알고리즘인 PSO(Particle Swarm Optimization) 통해 외란이나 제어기의 변화에 빠르게 적응할 수 있도록 하여 성능과 안정성을 보장한다.

ABSTRACT

In this paper, Position Controller for balance of Seesaw System design using PID Algorithm. Seesaw System is that it's system use widely to analyze of ship or flight dynamics, Inverted Pendulum, Robot System, manage system for theory of modern control system and all sorts of analysis. In case of Seesaw System, it's necessity that understand and analysis of system and correct selection of parameter because the system is strong nonlinear control system.

It guarantees efficiency and stability to adapt quickly for disturbance or change of controller from PID Algorithm of guarantee safe from simple and long history and PSO(Particle Swarm Optimization) that sort of metaheuristic optimization that need to accuracy and fast PID parameter tuning.

키워드

Seesaw system, Particle Swarm Optimization, PID Controller

1. 서 론

시소 시스템(Seesaw system)은 도립진자(Inverted Pendulum)와 함께 비선형성이 강한 대표적인 불안정한 시스템으로 제어 이론의 평가 및 검증하기에 적합하고 수학적 모델링이 비교적 간단히 유도 될 수 있기에 많이 사용된다.

이 시스템은 시소 구조물에 레일을 설치하고 레일위에 감속기가 달린 DC모터로 움직임이 가능한 카트를 위치시키고 시소의 위치 상태에 따라 카트를 이동시킴으로써 시소 시스템의 평형 상태

를 유지시킨다.

따라서 카트를 시소 시스템의 평형 점에 안정시키는 문제이므로 본 논문에서는 구조가 간단하고 성능이 검증된 PID 제어기를 사용한다. PID 제어기가 우수한 성능을 가지기 위해서는 적절한 제어기를 구현하고 시스템상의 외란 및 잡음에 안정하기 위해 PID 제어기의 파라미터 동조가 필요하다. 여기서는 파라미터 동조에 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘 [1] 을 사용한다. 이렇게 구현된 PSO-PID 알고리즘을 시소 시스템에 적용하여 검증한다.

II. 시소 시스템의 수학적 모델링

시소 시스템은 시소의 트랙위에 설치되어 있는 카트를 조절하여 시소의 균형을 조절하게 된다. 그림1은 시소 시스템을 모델링 한 것이다. 모델링에서 파라미터는 x 와 θ 두 가지로 요약된다. [2][3]

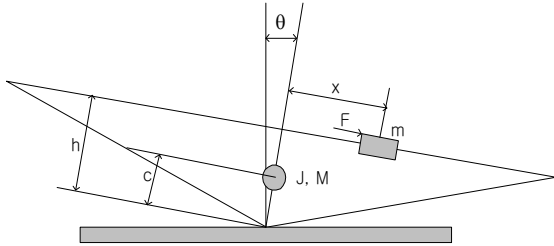


그림 1. Modeling of The Seesaw System

그리고 시소 시스템과 같은 불안정한 시스템의 운동 방정식은 식 (1)과 같이 Euler-Lagrange 방정식을 이용한다.

$$L = T - V \quad (1)$$

L은 시스템의 운동과 위치에너지를의 변화분이고 T는 운동에너지, V는 위치에너지이다. 위 식을 전개하면 식 (2)과 식(3)과 같다

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = F \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \quad (3)$$

위를 정리하여 \ddot{x} 와 $\ddot{\theta}$ 에 관하여 정리하면

$$\begin{aligned} \ddot{x} = & -\frac{mgh}{J}x + \left(-g\frac{Mh(c-J)}{J}\right) \\ & - \left(\frac{K_b K_g^2 K_m}{M_c R_m^2 R_a} + \frac{h^2 K_b K_g^2 K_m}{J R_m^2 R_a}\right) \dot{x} \\ & + \left(\frac{K_g K_m}{M_c R_m R_a} + \frac{h^2 K_g^2 K_m}{J R_m R_a}\right) u \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} = & \frac{mg}{J}x + \frac{Mgc}{J}\theta - \left(\frac{hK_b K_g^2 K_m}{J R_m^2 R_a}\right) \dot{x} \\ & + \frac{hK_g K_m}{J R_m R_a} u \end{aligned} \quad (5)$$

시스템의 전체 운동방정식인 식(4)와 (5)에서

$x = [x \ \dot{x} \ \theta]^T$ 로 상태변수를 정의하고 상태 방정식으로 표현하면 식(6)을 알 수 있다

$$\dot{X} = Ax + Bu \quad (6)$$

$$y = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -0.7294 & 4.211 & -0.002 & 0 \\ 5.2213 & 2.196 & -1.263 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0383 \\ 0.0028 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

표1. Parameter of Seesaw System

Parameter	Value
h	0.1397
c	0.058
J	0.854
M	3.3
R_a	2.6
J	0.815
m	0.455
K_g	3.71
g	9.8
K_t, K_m, K_b	0.00767
R_m	0.635

III. Particle Swarm Optimization

PSO 알고리즘은 새떼나 벌레 떼 따위의 사회적 행동에서 영감을 얻어 Eberthart, Kennedy에 의해 개발된 최적화 알고리즘이다. 아래는 PSO를 이용한 PID 파라미터 튜닝방법이다. [4][5][6][7]

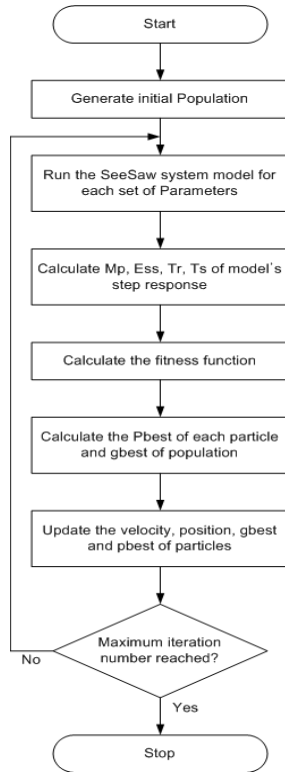


그림2. Flowchart of the PSO-PID control system

1. d차원의 초기 Particle x_{id} 와 속도 v_{id} PID의 세 가지 파라미터를 초기화 한다.
2. 목적함수로 x_{id} 에 대해 적합도를 평가한다. 또한 Routh-Hurwitz 방법으로 안정도 판별하고 페루프 전달함수 및 M_p, e_{ss}, t_r, t_s 를 구한다.
3. 평가 함수 f를 이용하여 각 Particle을 계산한다.

$$f = \frac{1}{(1 - e^{-\beta})(M_p - e_{ss}) + e^{-\beta}(t_s - t_r)}$$

4. 현재와 과거의 p_{best} 를 비교한다.
if 현재 $p_{best} <$ 과거 p_{best} , then $p_{best} =$ 현재 p_{best}
5. 각 Particle에 대한 과거의 최적값 $p_{best}[g_{best}]$ 을 찾는다. 만일 현재 값이 p_{best} 보다 낮다면 g_{best} 에 현재 값을 할당한다.
6. 새로운 속도 v_{id} 를 계산한다.

$$v_{id}^{n+1} = v_{id}^n + c_1 \times r^n \times (p_{best}^n - present_{id}) + c_2 \times r^n \times (p_{best}[g_{best}]_{id} - present_{id})$$

7. 의사결정기준에 부합되거나 충분히 좋은 적합

도를 가진 해를 얻거나 충분히 많은 세대를 거치게 될 때까지 2단계부터 루프를 계속 실행한다.

- particle = 50
- dimension = 3 (gbest1=kp, gbest2 =ki, gbest3=kd)
- max iteration = 50
- inertia weight = 0.9
- c1= 1.2 , c2 = 0.12

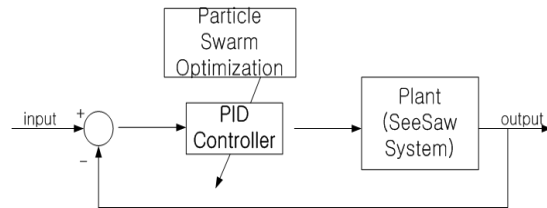


그림 3. PSO Tuning of PID Controller

IV. 시뮬레이션

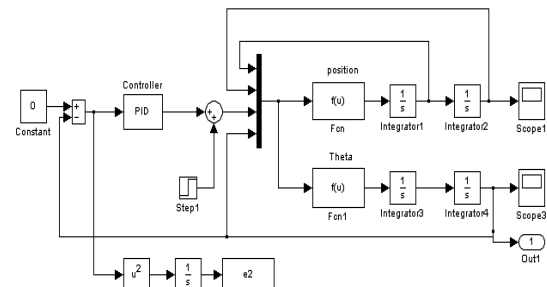


그림4. Block Diagram

시소 시스템에서 시소의 각 θ 와 카트의 위치 x 에 관하여 블록다이어그램을 작성하게 되면 그림2와 같이 나타내어진다.

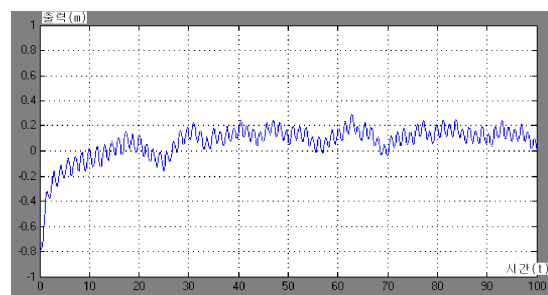


그림5. Cart의 위치 x 출력

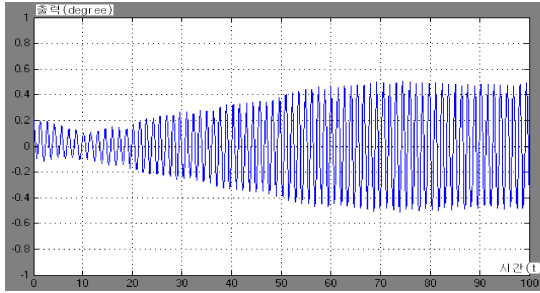


그림 6. 시소 시스템의 각도 θ 출력

PSO를 이용하여 구한 $K_p = -4.2471$, $K_i = 1.5316$, $K_d = -2.9713$ 인 파라미터를 그림2와 같이 구현한 시스템에 적용하여 그림4와 그림5와 같은 출력이 나타났다. 위의 결과는 Cart의 위치 x 와 시소 시스템의 각도 θ 의 출력이고 시소 시스템은 Cart에 의해 평형을 이루고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 대표적인 비선형시스템인 시소 시스템을 설계하여 모델링하고, PSO를 이용한 파라미터 동조한 PID Controller[8]를 이용하여 시스템 제어에 적용하였다. 위의 결과와 같이 시소 시스템이 균형을 잘 이루어짐을 확인 하였다. 이 성능을 토대로 하여 실제 제어기 구현이 이루어지고 그 성능을 확인 하는 실험이 이루어 져야 한다.

또한 시스템 출력에서 진동이 심함을 알 수 있는데 이는 각 시스템의 상태변수와 시스템 파라미터의 최적화 작업이 이루어 져야 할 것이다.

참고문헌

[1] James Kennedy, Russell Eberhart, "Particle Swarm Optimization " IEEE, 1995
 [2] 류기탁,이윤형,유희한,전병건,김중수,소명옥, "축소차수 관측기를 이용한 시소시스템의 PI형 상태 피드백 제어", 한국항해항만학회지, 제31권 제10호, pp.853~858, 2007
 [3] 이인용, "TS 퍼지 제어 알고리즘을 이용한 시소 시스템의 위치제어", 2002
 [4] Tushar Jain, M.J.Nigam "Optimization of PD-PI Controller Using Swarm Intelligence" , INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTATION COGNITION, VOL.6 NO.4, DECEMBER 2008
 [5] Zwe-Lee Gaing , "A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System" , IEEE

TRANSACTION ON ENERGY CONVERSION , VOL.19,NO.2, JUNE 2004

[6] Akihiro Oi, Chikashi Nakazawa, Tetsuro Matsui, "Development of PSO-based PID Tuning Method" , International Conference on Control ,Automation and Systems, 2008

[7] Li Xu-zhou,Yu Fei, Wang You-bo, "PSO Algorithm based Online Self-Tuning of PID Controller", International Conference on Computational Intelligence and Security, 2007

[8] K.ASTROM AND T.HAGGLUND, "PID Controllers Theory, Design, and Tuning", ISA, 343 Page, 1995